

# POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA

AIR POLLUTION AND EFFECTS ON HUMAN HEALTH

CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA

Inês Lisboa ([ines\\_cpst@hotmail.com](mailto:ines_cpst@hotmail.com))\*

Pedro Rodrigues ([prodriques@ipq.pt](mailto:prodriques@ipq.pt))\*\*

## RESUMO:

Ao longo dos anos a poluição atmosférica tem sido encarada de uma forma diferente. Inicialmente apenas os agentes químicos eram considerados poluentes, agora cada vez mais, os poluentes biológicos são alvo de monitorizações e estudos. Os poluentes atmosféricos mais comuns provêm principalmente das indústrias, do tráfego automóvel e da polinização das plantas e árvores. As alergias, têm tido um aumento muito significativo e são já consideradas um problema de saúde pública. No artigo são apresentados diversos estudos comparativos de trabalhos realizados em Portugal e na Europa sobre a influência dos poluentes atmosféricos na saúde pública. As grandes cidades têm em geral, maior concentração de poluentes do que as cidades mais pequenas, este facto deve-se não só à quantidade excessiva de tráfego automóvel, mas também às grandes zonas industriais envolventes. Cada pessoa, dependendo da idade e do estado de saúde, apresenta diferentes respostas à exposição aos poluentes atmosféricos. Doenças do foro respiratório, cardiovascular e alérgicas são as mais frequentemente relacionadas com a poluição atmosférica.

**Palavras Chave:** Poluição Atmosférica, Doenças Alérgicas, Pólenes.

## ABSTRACT:

Over the years, air pollution has been seen differently. Initially only the chemicals were considered polluting agents, now a days, biological pollutants are subject to monitoring and studies. The most common air pollutants come mainly from industries, traffic and the pollination of plants and trees. Allergies have had a very significant increase and are now considered a public health problem. The paper presents several comparative studies carried out in Portugal and in Europe about the influence of air pollutants on public health. Big cities generally have higher concentration of pollutants than smaller cities, this is due not only to the excessive amount of car traffic, but also to large industrial areas surrounding. Each person, depending on age and health status have different responses to exposure to air pollutants. Respiratory, cardiovascular and allergic diseases are the most often related to air pollution.

**Keywords: Air Pollution, Allergic Diseases, Pollens.**

## RESUMEN:

A través de los años, la contaminación del aire se ha visto de manera diferente. Inicialmente sólo los productos químicos fueron considerados contaminantes, cada vez más, los contaminantes biológicos están sujetos a la supervisión y estudios. Los contaminantes atmosféricos más comunes provienen principalmente de las industrias, el tráfico y la polinización de las plantas y los árboles. Las alergias han tenido un incremento muy significativo y ahora se consideran un problema de salud pública. En el artículo se presentan varios estudios comparativos de los trabajos realizados en Portugal y en Europa sobre la influencia de la contaminación atmosférica en la salud pública. Las grandes ciudades generalmente tienen una mayor concentración de contaminantes de las ciudades más pequeñas, esto se debe no sólo a la excesiva cantidad de tráfico de automóviles, sino también a grandes áreas industriales circundantes. Cada persona, dependiendo de la edad y estado de salud tiene diferentes respuestas a la exposición a contaminantes del aire. Enfermedades del aparato respiratorio, cardiovascular y alérgicas son más a menudo relacionado con la contaminación del aire.

**Palabras clave: Contaminación del aire, las enfermedades alérgicas, polen.**

\* Licenciada em Engenharia do Ambiente. Mestranda em Sistemas Integrados de Gestão [AQ&RS] na ESTG/IPG. Formadora na área de Ambiente, Higiene e Segurança no Trabalho.

\*\* Doutorado em Química. Professor Adjunto na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), a qualidade do ar traduz o grau de poluição atmosférica, o qual é originado por uma mistura de substâncias químicas lançadas para a atmosfera ou resultantes de reações químicas que nela ocorrem e que alteram o que seria a constituição natural da atmosfera. Estas substâncias poluentes podem ter maior ou menor impacto na qualidade do ar, consoante a sua composição química, concentração e as próprias condições meteorológicas.

O conceito de qualidade não é imutável, sofrendo adaptações ou ajustes de acordo com o conhecimento e as melhores técnicas disponíveis. Pela mesma razão, os critérios de qualidade do ar foram sofrendo adaptações em função do conhecimento e da tecnologia disponível. Além dos poluentes químicos, inicialmente objeto de uma maior atenção, os poluentes biológicos, têm sido, cada vez mais, tema de preocupação e pesquisa de inúmeros investigadores. Especial atenção tem sido dada às questões relacionadas com as alergias, as quais têm tido um aumento muito significativo e são já um problema de saúde pública (Couto e Morais de Almeida, 2011). O aumento substancial das doenças respiratórias nos países industrializados é atribuível a uma combinação de poluentes químicos e biológicos, nomeadamente pólenes que podem adquirir propriedades mais alergénicas quando sofrem a influência de alguns agentes químicos.

Problemas ao nível do sistema respiratório e do sistema cardiovascular são os mais frequentemente referidos na exposição crónica ou aguda aos poluentes atmosféricos. As doenças alérgicas como a rinite e a asma são dois exemplos do anteriormente referido. Este tipo de patologias acarreta não apenas danos para os pacientes mas também implicações na economia, devido ao absentismo no trabalho, e particularmente sobre o sistema de saúde, devido à alocação de recursos para o tratamento e programas de gestão preventiva.

Atuar de forma preventiva e assim reduzir os efeitos dos poluentes atmosféricos, especialmente os poluentes biológicos, será um fator positivo na melhoria do conforto das pessoas que padecem deste tipo de problemas. Para tal, será necessário realizar um inventário da aerobiologia das zonas urbanas, de modo a permitir que a realização de exames de diagnóstico sejam mais direcionados para o tipo de pólenes existente na região. Estes estudos poderiam ser também

importantes para alterar o revestimento vegetal dos espaços verdes nas zonas urbanas e definir os limiares de concentração de pólen relacionados com o risco de reação alérgica.

## 2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Num ambiente tipicamente urbano, a população está exposta a cerca de 200 poluentes ou classes de poluentes atmosféricos (Sicard *et al.*, 2011). Os mais comuns, especialmente nas áreas urbanas e industriais são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o ozono (O<sub>3</sub>), partículas finas medidas como PM<sub>10</sub> (partículas com diâmetro inferior a 10 µm) e PM<sub>2.5</sub> (partículas com diâmetro inferior a 2,5 µm), pólenes e fungos, os quais se encontram regulamentados em legislação europeia e legislação nacional.

Segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de setembro, o qual transpõe para a legislação nacional a Diretiva 2008/50/CE de 21 de Maio, no âmbito do qual se pretende proteger a saúde humana, combater as emissões poluentes na origem, identificar e implementar as medidas mais eficazes de redução de emissões, e fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente (Tabela 1) de acordo com as orientações da Organização Mundial de Saúde. Também ao nível da qualidade de ambientes interiores o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril, regulamento os Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), tem como objetivo, entre outros, garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior dos edifícios, nomeadamente microrganismos (bactérias e fungos), dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis (COV) e PM<sub>10</sub> (Tabela 2).

**Tabela 1 - Valores limite de exposição, para a proteção da saúde humana, para o SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, Benzeno, Chumbo e PM<sub>2.5</sub> (Decreto - Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro).**

Poluente	Período de referência	Valor Limite	Margem de Tolerância
SO <sub>2</sub>	1 hora	350 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>
	1 dia	125 µg/m <sup>3</sup>	Nenhuma
NO <sub>2</sub>	1 hora	200 µg/m <sup>3</sup>	Nenhuma
	1 ano	40 µg/m <sup>3</sup>	Nenhuma
PM <sub>10</sub>	1 dia	50 µg/m <sup>3</sup>	50%
	1 ano	40 µg/m <sup>3</sup>	20%
CO	Máximo horário da média das 8 horas	10 mg/m <sup>3</sup>	60%
Benzeno	1 ano	5 µg/m <sup>3</sup>	Nenhuma
Chumbo	1 ano	0,5 µg/m <sup>3</sup>	100%
PM <sub>2,5</sub>	1 ano	25 µg/m <sup>3</sup>	20% <sup>(1)</sup>

(<sup>1</sup>) – até 11 de junho de 2008, a reduzir no dia 1 de janeiro seguinte em cada período de 12 meses subsequentes numa percentagem anual idêntica, até atingir 0% em 1 de janeiro de 2015

Tabela 2 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior de edifícios de acordo com o anexo VII e o n.º 8 do artigo 29º do D.L. n.º 79/2006 de 4 de Abril.

Parâmetro	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )	0,15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	1800 mg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos Orgânicos Voláteis	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Microrganismos (bactérias)	500 UFC
Microrganismos (fungos)	500 UFC
<i>Legionella</i>	100 UFC
Radão	400 Bq/m <sup>3</sup>

Na legislação portuguesa estão ainda definidos os limiares de informação e os limiares de alerta. O limiar de informação é desencadeado quando são atingidas concentrações acima das quais uma exposição a SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ou O<sub>3</sub>, de curta duração, apresenta riscos de saúde para grupos sensíveis da população. O limiar de alerta, para o qual é necessária uma divulgação imediata à população e uma adoção de medidas imediatas, é acionado quando as concentrações dos poluentes atingirem um nível que apresenta risco para a saúde, mesmo para uma exposição de curta duração (Tabela 3).

Tabela 3 - Limiar de informação e limiar de alerta para o ozono, segundo o Decreto – Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro.

Poluente	Limiar de informação	Limiar de alerta	Observações
SO <sub>2</sub>	-	500 µg/m <sup>3</sup>	-
NO <sub>2</sub>	-	400 µg/m <sup>3</sup>	-
O <sub>3</sub>	180 µg/m <sup>3</sup>	240 µg/m <sup>3</sup>	Período de referência de 1 hora

Estão ainda estabelecidos, relativamente ao arsénio, cádmio, mercúrio, níquel e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), os valor-alvo das suas concentrações no ar ambiente (Tabela 4). O valor-alvo é fixado com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os seus efeitos nocivos na saúde humana e no meio ambiente, a ser alcançado, na medida do possível, durante um dado período de tempo.

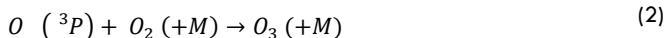
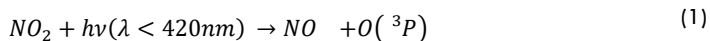
Tabela 4 – Valores alvo para o arsénio, cádmio, níquel e benzo(a)pireno segundo o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro.

Poluente	Valores alvo <sup>(1)</sup>
Arsénio	6 ng/m <sup>3</sup>
Cádmio	5 ng/m <sup>3</sup>
Níquel	20 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pireno	1 ng/m <sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Para o teor total na fração PM<sub>10</sub> calculada com média durante um ano civil

## 2.1 Origem dos poluentes

A origem dos poluentes é diversa, desde logo pelo modo como são produzidos alguns dos contaminantes presentes na atmosfera. Assim, é possível distinguir dois tipos de poluentes, os poluentes primários e os poluentes secundários. Os primeiros são emitidos diretamente pelas fontes de origem para a atmosfera. Por exemplo, os gases emitidos pelos veículos automóveis ou pela chaminé de uma fábrica, como o monóxido de carbono (CO), monóxidos de azoto (NO), dióxidos de azoto (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ou partículas em suspensão (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>). Os segundos, são os que resultam das reações químicas de alguns poluentes primários na atmosfera. Por exemplo, o ozono troposférico (O<sub>3</sub>), que resulta de reações fotoquímicas, que ocorrem na presença de luz solar, COV e NO<sub>x</sub>. A formação da molécula de O<sub>3</sub> resulta da reação entre o átomo de oxigénio no seu estado fundamental O (<sup>3</sup>P), produzido a partir da reação fotoquímica do NO<sub>2</sub>, e o O<sub>2</sub> na presença de uma molécula inerte, normalmente o N<sub>2</sub>, que absorve o excesso de energia vibracional, como descrito nas reações (1) e (2).



Após a formação do  $\text{O}_3$ , este pode ser rapidamente consumido através da reação com o  $\text{NO}$ .



Esta reação repõe, relativamente à reação indicada em (1), o  $\text{NO}_2$  na atmosfera. Na ausência de outras vias que interfiram neste ciclo, verifica-se assim um equilíbrio entre as espécies químicas  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ , sem uma produção efetiva de  $\text{O}_3$ .

Na presença de COV, a possibilidade de produção de  $\text{O}_3$  aumenta uma vez que os radicais livres, como o radical hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ), levam à formação de radicais de peróxido ( $\text{RO}_2^\cdot$ ), alcóxido ( $\text{RO}^\cdot$ ) e hidroperoxido ( $\text{HO}_2^\cdot$ ), como exemplificado na Figura 1 e reações (4) a (6). A formação adicional de  $\text{NO}_2$ , através da reação de radicais livres e espécies orgânicas parcialmente oxidadas presentes na atmosfera, levam a produção de mais  $\text{O}_3$ , de acordo com as reações químicas (1) e (2).

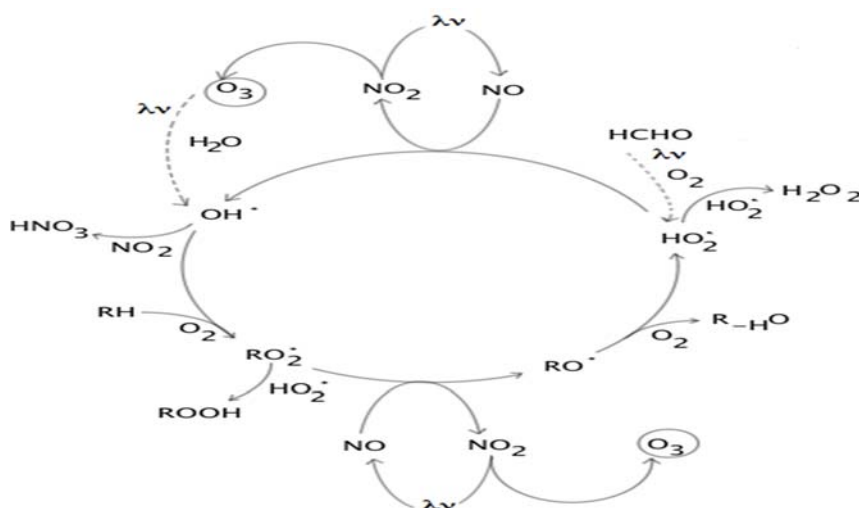
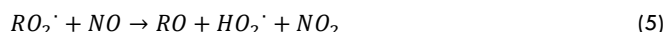
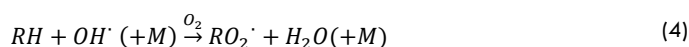


Figura 1 – Representação esquemática do papel desempenhado pelo NO<sub>x</sub> e COV na geração de ozono (baseado em Jenkin e Clemitshaw, 2000).



De acordo com o relatório do estado do Ambiente da Agência Portuguesa de Ambiente (2011), as principais fontes de emissão de substâncias precursoras de ozono troposférico são a indústria (39,0%), os transportes (32,3%), e a produção de energia (11,4%). Na Tabela 5 são apresentadas as características físico-químicas e as fontes mais significativas dos principais poluentes.

Tabela 5 - Características físico-químicas e fontes de alguns poluentes atmosféricos (Adaptado de APA, 2011).

Poluente	Características físico-químicas	Fontes
CO	Incolor e Inodoro	Tráfego e Indústrias
NO <sub>2</sub>	Castanho claro (quando em baixas concentrações)	Tráfego e Indústria (queima de combustíveis a temperaturas elevadas)
SO <sub>2</sub>	Incolor, Inodoro (em baixas concentrações)	Indústria (química e pastas de papel)
O <sub>3</sub>	Incolor (principal constituinte do smog fotoquímico)	Forma-se ao nível do solo por reações fotoquímicas entre alguns poluentes primários (NO <sub>x</sub> , COV ou CO). Os Poluentes primários provêm do Tráfego, Indústria, aterros sanitários, tintas e solventes, florestas (principalmente COV)
PM <sub>10</sub>	Material sólido ou pequenas gotículas de fumo, poeiras e vapor condensado no ar	Tráfego e Indústria (cimenteiras, química, refinarias, madeiras), Obras de construção civil, Processos agrícolas (ex. aragem dos solos)
Pólenes	Invisíveis à vista desarmada	Polinização das plantas e árvores
Fungos	Visíveis quando estão em forma de cogumelos e bolores	Provêm de esporos fúngicos que se propagam em determinadas condições

## 2.2 Poluentes químicos

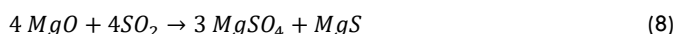
Dióxido de enxofre, resulta da combustão (oxidação de enxofre a partir de combustíveis fósseis), está associado com várias doenças respiratórias, frequentemente em combinação com partículas em suspensão no ar. Pode causar inflamação e uma alteração da função respiratória. Estudos epidemiológicos mostram uma ligação entre o dióxido de enxofre, as partículas em suspensão e os internamentos hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares (Pope *et al.*, 2002). O dióxido de enxofre origina também a formação de sulfatos e ácidos no ar ambiente, o qual contribui para a formação de chuvas ácidas, prejudiciais para os ecossistemas aquáticos e terrestres,



conforme os mecanismos referidos na reação química (7) e subsequentes.



Alguns óxidos metálicos oxidam o  $SO_2$  diretamente a sulfato, como é o caso do óxido de magnésio (8).



Na presença de água, forma-se ácido sulfuroso e ácido sulfúrico como descrito nas reações (9) e (10), respetivamente.



Os óxidos de azoto ( $NO$  e  $NO_2$ ) são emitidos durante a combustão, sendo o dióxido de azoto o mais prejudicial para a saúde. Quando concentrado apresenta uma cor castanha-avermelhada, em concentrações mais baixas tem uma tonalidade amarelada. É um gás irritante para o trato respiratório e promove hiper-reatividade brônquica. Os asmáticos são normalmente muito sensíveis à presença deste composto na atmosfera e em crianças pode causar infeções pulmonares (Davis e Cornwell, 1991). Os óxidos de azoto também contribuem para a formação de poluentes fotoquímicos como o ozono (reação 1 e 2), prejudiciais à saúde, contribuindo ainda para a formação de chuvas ácidas que condicionam o equilíbrio dos ecossistemas e promovem a degradação de edifícios e monumentos.

As partículas são emitidas nos processos de combustão, podendo também formar-se a partir de alguns gases poluentes presentes na atmosfera. Os vulcões e os oceanos são considerados as principais fontes naturais de emissão de partículas e aerossóis. As  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  são chamadas de partículas respiráveis dado que podem alcançar o sistema pulmonar. Os efeitos provocados por estas partículas dependem da sua composição química. A maior fonte de emissão de partículas finas, em Portugal, é resultante da queima de madeira em residências particulares. Estas emissões variam de distrito

para distrito pois as práticas e o tipo de madeira varia consideravelmente. No sul do país a espécie de madeira utilizada é a azinheira e o sobreiro, já no norte as madeiras mais usadas são o pinheiro bravo, o carvalho e o eucalipto. A quantidade total de madeira consumida em Portugal no ano de 2010 foi de 1,96 milhões de toneladas, sendo 83% utilizada para cozinhar e para aquecimento (Gonçalves *et al.*, 2012). Em Portugal, estima-se que a emissão anual de CO<sub>2</sub> proveniente da combustão de madeira em residências represente aproximadamente 1,7 milhões de toneladas. Na Figura 2, podemos observar o total de emissões anuais de PM<sub>2.5</sub>, CO e CO<sub>2</sub> por distrito de acordo com dados de Gonçalves *et al.* (2012).

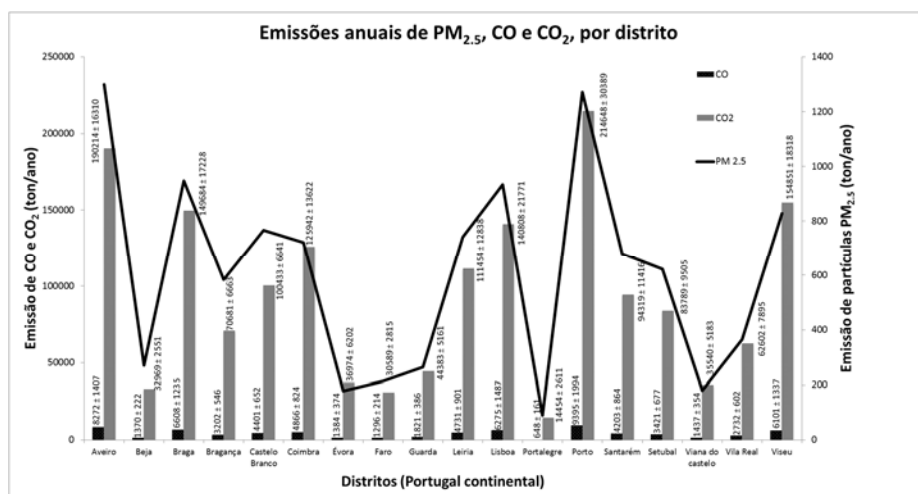


Figura 2 - Emissões anuais de PM<sub>2.5</sub>, CO e CO<sub>2</sub>, por distrito, de acordo com Gonçalves *et al.* (2012).

Os hidrocarbonetos e COV, são emitidos por várias fontes (indústria de solventes, petroquímica, circulação automóvel, entre outras). Sob esta nomenclatura estão incluídos muitos compostos diferentes com efeitos muito diversos. Alguns compostos orgânicos voláteis, tais como o formaldeído e o benzeno, são cancerígenos (Shiohara *et al.*, 2005), outros, como os COV, contribuem para a formação de poluentes secundários, tal como anteriormente referido. A atmosfera pode também incluir compostos orgânicos persistentes e algumas substâncias voláteis, tais como pesticidas, dioxinas, ou furanos. A vegetação é também responsável pela libertação de

compostos orgânicos para a atmosfera. Um composto típico, libertado pelas árvores de folha caduca, é o isopreno ( $C_5H_8$ ). As coníferas libertam terpenos como o  $\alpha$ -pireno e o  $\beta$ -pireno. A libertação do isopreno está diretamente relacionado com o processo fotossintético das plantas, verificando-se um aumento das emissões com o aumento da temperatura e da intensidade da luz solar. A emissão de terpenos não depende da presença de luz solar mas está diretamente relacionada com o aumento da temperatura (Lerdau e Gray, 2003; Pacifico *et al.*, 2009).

Os HAP são compostos orgânicos contendo na estrutura molecular de pelo menos dois anéis de benzeno. Deste grupo fazem parte compostos tais como o benzopireno, o qual é uma substância carcinogénica. Alguns HAP também podem afetar o sistema imunitário (Matschulat *et al.*, 2006; Karakaya *et al.*, 1999). Eles são produzidos a partir da combustão, nomeadamente na combustão de madeira em lareiras e fogueiras. Uma parcela menor pode também ter origem no tráfego automóvel.

O monóxido de carbono tem origem nos processos de combustão, particularmente das caldeiras de combustão e do tráfego automóvel. Este gás liga-se à hemoglobina e pode causar problemas respiratórios e cardíacos. Os grupos populacionais mais vulneráveis a este gás são aqueles que sofrem de problemas cardíacos, circulatórios e pulmonares.

O ozono e os poluentes fotoquímicos resultam, na maior parte, das reações químicas, sob a ação da luz solar, entre óxidos de azoto, COV e monóxido de carbono. Estas reações geram também outros agentes poluentes como o nitrato de peroxiacetilo, ácido nítrico, aldeídos, ou partículas finas. O ozono é o principal produto de diversas reações fotoquímicas complexas que ocorrem na baixa atmosfera, contribuindo também para o efeito estufa (Davis e Cornwell, 1991). Além disso, o ozono é um poderoso oxidante que quando presente na troposfera, em concentrações acima do desejável, é prejudicial à saúde e provoca também danos nos ecossistemas e no património edificado das cidades. O ozono e as partículas, constituem uma das prioridades europeias na preservação da qualidade do ar.

Metais pesados como o chumbo (Pb), mercúrio (Hg), arsénio (As), cádmio (Cd), níquel (Ni), encontram-se na atmosfera sob a forma

de partículas, com a exceção do mercúrio que se encontra na forma vapor. A origem destes metais decorre dos processos de combustão, alguns processos industriais, e da incineração de resíduos. Estes metais podem acumular-se no organismo podendo causar danos ao nível do sistema nervoso, da função renal, fígado, entre outros (Onder e Dursun, 2006). A sua deposição nos solos e águas contribui para a contaminação de toda a cadeia alimentar.

### 2.3 Poluentes biológicos

Muitos aspetos das nossas vidas são afetados por partículas biológicas que estão presentes, ou são transportadas pela massa de ar, e depositadas a partir dela. Muitas pessoas, em consequência da presença de material biológico, evidenciam reações alérgicas, como por exemplo, a pólenes e ácaros. O estudo da composição biológica da atmosfera é denominado de aerobiologia, o seu desenvolvimento como disciplina científica tem sido o desejo de compreender os mecanismos de dispersão de doenças no ser humano, de modo a impedir ou reduzir a sua proliferação. A aerobiologia requer não apenas um conhecimento das características de cada uma das componentes biológicas presentes na atmosfera, mas também dos seus mecanismos de transporte e dispersão (Lacey e West, 2006).

Além de esporos de plantas, pólenes e fungos, o ar pode também transportar bactérias, vírus, protozoários, ácaros e fragmentos de qualquer origem biológica. A temperatura, a humidade relativa, as fontes de nutrientes e a circulação do ar afeta o crescimento e disseminação deste tipo de contaminantes biológicos, os quais se dispersam-se através do solo, dos animais, dos seres humanos ou aerossóis de água (Hameed *et al.*, 2009; Seltzer, 1994). A grande maioria destes contaminantes provocam doenças ou desconforto, essencialmente, por três mecanismos: infeção, intoxicação e alergias. Bactérias, vírus e fungos penetram no organismo humano através do trato respiratório, dos olhos, ferimentos na pele, ou até pela sua ingestão. A concentração deste tipo de poluentes determina a probabilidade e a gravidade do desenvolvimento de uma patologia. As principais características e fontes dos contaminantes biológicos estão descritas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Características e fontes dos principais contaminantes biológicos (adaptado de Seltzer, 1994).**

Contaminante Biológico	Fontes (exemplos)	Principais efeitos (humanos)	Locais de ocorrência (contaminantes orgânicos)
Bactérias	<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumonia	Torres de arrefecimento Tubagens do ar condicionado Fontes luminosas
	<i>Actinomicetos</i> (esporos)	Pneumonia por hipersensibilidade	Fontes de água quente Superfícies quentes e húmidas
	Endotoxina	Febre, calafrios	Reservatórios Água estagnada
	Proteases	Asma	Processos industriais
Fungos	<i>Sporobolomyces</i>	Pneumonia por hipersensibilidade	Superfícies húmidas
	<i>Alternaria</i> (esporos)	Asma, rinite	Ar exterior, superfícies húmidas
	<i>Histoplasma</i> (esporos)	Infeção sistémica	Excrementos de pássaros
	Glicoproteínas (antígeno)	Asma, rinite	Ar exterior
	Aflatoxinas (micotoxinas)	Necrose, cirrose hepática, carcinoma	Superfícies húmidas
Protozoários	<i>Naegleria</i>	Infeção	Reservatórios de água contaminados
	<i>Acanthamoeba</i>	Encefalites, Pneumonia por hipersensibilidade	Reservatórios de água contaminados
Vírus	Vírus <i>influenza</i>	Infeção respiratória	Hospedeiros humanos
Algas	<i>Chlorococcus</i>	Asma, rinite	Ar exterior
Plantas	<i>Chenopodium ambrosioides</i> (Erva Formigueira)	Asma, rinite	Ar exterior
Artrópodes	<i>Dermatophagoides</i> (ácaros)	Asma, rinite	Colchões, almofadas, sofás tapetes
Mamíferos	Cavalos (pelo)	Asma, rinite	Cavalos
	Gatos (pelo, saliva)	Asma, rinite	Gatos

As infeções respiratórias são provocadas 34% das vezes por vírus, nomeadamente o rinovírus (18%), vírus da gripe (2-5%), sendo as restantes provocadas por agentes diversos. Por sua vez, 8,2% das infeções respiratórias são provocadas por bactérias entre as quais, os estreptococos (7%) (Pelczar *et al.*, 1981).

As bactérias são organismos procariotas que medem apenas entre um e cinco milésimos de milímetro. Podem ter a forma de bastonete, arredondada, alongada, ondulada ou de vírgula. Podem ser transportados por aerossóis até longas distâncias através das massas de ar. O seu destino depende de uma combinação de fatores ambientais, como a intensidade da luz, a humidade e a temperatura do

ar. São um fator de risco para indivíduos com doenças respiratórias que residam principalmente em zonas costeiras (Marks *et al.*, 2001). Também as estações de tratamento de águas residuais são uma fonte importante de aerossóis contendo bactérias (Bauer *et al.*, 2001). Muitas das bactérias presentes na atmosfera são agentes de doenças infecciosas, tais como pneumonia, meningite, tétano, sífilis ou tuberculose (Hwang *et al.*, 2010).

Os protozoários são protistas eucariotas que ocorrem como células isoladas ou em colônias. Variam quanto à forma, dimensão, estrutura e características fisiológicas. Os principais fatores que influenciam a sua distribuição e a sua quantidade são a humidade, temperatura, luz, ou a presença de nutrientes (Pelczar *et al.*, 1980). Estudos efetuados nos hospitais de Espanha e do País de Gales detetaram, em alguns casos, a presença de protozoários flagelados na expectoração de pacientes com problemas respiratórios e deficiências no sistema imunitário, particularmente pacientes com asma (Woerden *et al.*, 2011).

Os vírus são partículas que contêm um filamento de ácido nucleico no qual se armazena toda a informação necessária para originar novos vírus. A sua replicação está dependente da infeção de uma célula e da utilização do seu metabolismo (parasitas a nível genético), à qual provocam geralmente a morte. Mais de 200 tipos de vírus são associados a infeções respiratórias superiores, incluindo *rinovírus*, *coronavírus*, *vírus influenza*, *vírus parainfluenza*, *adenovírus* e *vírus sincicial* respiratório, *metapneumovírus* humano e *bocavírus* (Lin *et al.*, 2012).

Diversos estudos demonstram uma associação positiva entre problemas respiratórios e a presença de vírus. Um estudo realizado em Taiwan entre 2001 e 2008 (Liao *et al.*, 2011) demonstrou uma forte associação entre a taxa de pacientes com crises agudas de asma e gripe. Há também uma associação entre o agravamento dos sintomas de asma e a presença de *adenovírus*. Segundo Murdoch e Jennings (2009), o aumento da atividade de alguns vírus respiratórios e o aumento da concentração de poluentes atmosféricos estão associados à taxa de incidência de infeções pneumocócicas. Em Taiwan entre 2003 e 2007 foi efetuado um estudo que permitiu verificar uma associação positiva entre infeções respiratórias e fatores ambientais,

incluindo a temperatura ambiente, poluentes atmosféricos ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{PM}_{2.5}$ ) e vírus respiratórios (Lin *et al.*, 2012).

O grão de pólen, estrutura essencial à reprodução sexuada da planta, é transportado através do vento ou dos insetos. Esta última é uma forma de aumentar as possibilidades de reprodução das plantas. Cada planta apresenta o seu grão de pólen com a sua morfologia característica. A sua identificação é baseada no tamanho, forma, e morfologia da membrana externa. O tamanho do grão de pólen oscila entre 5  $\mu\text{m}$  (*Myosotis*) e 250  $\mu\text{m}$  (*Coníferas*), estando o seu tamanho médio entre 25 e 35  $\mu\text{m}$ . Regista-se uma maior abundância de pólenes nas áreas rurais e semirurais do que em áreas urbanas, facto que se deve à diferença entre a área de vegetação existente em cada um dos locais. No entanto, verifica-se uma maior concentração de pólenes alergénicos em áreas semirurais (Bosch–Cano *et al.*, 2011). A diversidade de espécies nas cidades é baixa e as espécies encontradas são essencialmente, plantas de ciclo anual curto como as gramíneas (*Poaceae*) e árvores ornamentais, como por exemplo, as Camélias (*Theaceae*) e os Plátanos (*Platanaceae*).

O pólen de árvores ornamentais representa 90% do pólen alergénico nas áreas urbanas e semiurbanas, enquanto que nas áreas rurais o valor é de apenas 70% (Bosch – Cano *et al.*, 2011). Este facto, por si só, demonstra que um maior cuidado na seleção das plantas e árvores a colocar nas zonas urbanas, nomeadamente o conhecimento do seu grau alergénico poderia diminuir a incidência de doenças alérgicas ou pelo menos evitar que a sua manifestação fosse tão aguda.

As doenças alérgicas estão muito associadas à exposição a concentrações elevadas de pólen, mas os poluentes químicos atmosféricos também têm um papel preponderante. Estes podem alterar o grau alergénico dos pólenes, através de diversos mecanismos, nomeadamente alterações morfológicas do pólen e aumento da libertação de grãos de pólen citoplasmáticos com grande teor alergénico (Motta *et al.*, 2006). Deste modo, a atmosfera urbana, apesar de ter uma menor concentração de grãos de pólen, pode agravar os sintomas de alergia da população (Bosch – Cano *et al.*, 2011).

Os fungos são organismos eucariotas saprófitas primários e cosmopolitas. Os esporos por eles produzidos são aeroalergénios muito frequentes, com grande capacidade de flutuação e uma

dimensão que varia entre os 2 e os 20 mm de diâmetro. A sensibilidade aos fungos, por indivíduos com doenças do trato respiratório inferior, como a asma, para além de provocar o agravamento da doença, torna-a também mais persistente (Knutsen *et al.*, 2012). Os fungos constituem frequentemente a maior componente de bioaerossóis nos ambientes interiores e exteriores, e muitas espécies são capazes de desencadear reações alérgicas nas pessoas mais sensíveis. Do ponto de vista clínico é assim de grande interesse a identificação e quantificação dos vários tipos de esporos presentes na atmosfera de uma localidade (Caeiro *et al.*, 2010).

As doenças alérgicas causadas por ácaros são um problema de saúde mundial, já que estes são uma fonte importante de alérgenos. Na infância, a asma é a doença crónica mais comum, cuja alergia aos ácaros é uma das causas frequentes (Kim *et al.*, 1999). A relação entre a exposição e os sintomas da asma em indivíduos sensíveis é complexa, pois alguns pacientes reagem a doses muito baixas de alérgénio, enquanto que outros pacientes toleram doses bastante mais elevadas. Para além da medicação que pode ser prescrita, a melhor forma de tratamento é a redução da exposição (Halken *et al.*, 2003). No caso em que as fontes de exposição são pontuais, como colchões e almofadas, essa solução é mais simples de implementar. No entanto, nos casos em que as fontes de exposição são o ar ambiente, a resolução do problema é substancialmente mais complexo.

Uma das medidas aplicadas para reduzir a exposição a fontes pontuais é a utilização de capas de poliuretano para revestir os colchões e as almofadas. Estas capas são impermeáveis ao alérgeno e permeáveis à transpiração. A sua utilização, segundo o estudo de Halken *et al.* (2003) reduz a exposição a alérgenos e diminui a necessidade de corticoides inalatórios.

### 3. INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A influência das fontes e das condições climáticas são evidenciadas quando comparamos a qualidade do ar exterior na Maia e no Fundão, obtida através dos dados fornecidos pelas estações de monitorização da APA. Dada a diferença de dimensão de ambas as cidades e consequentemente diferença de industrialização e tráfego, foram comparados os poluentes medidos em comum (Figura 3). Em



relação às  $PM_{10}$  pode-se observar que no Fundão, a concentração foi maior durante os meses de verão, atingindo o seu máximo em agosto com um valor de  $36,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na Maia a concentração sofreu poucas flutuações ao longo do ano mas o seu máximo foi igualmente atingido em agosto com um valor de  $33,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Comportamento semelhante foi observado para as  $PM_{2,5}$ .

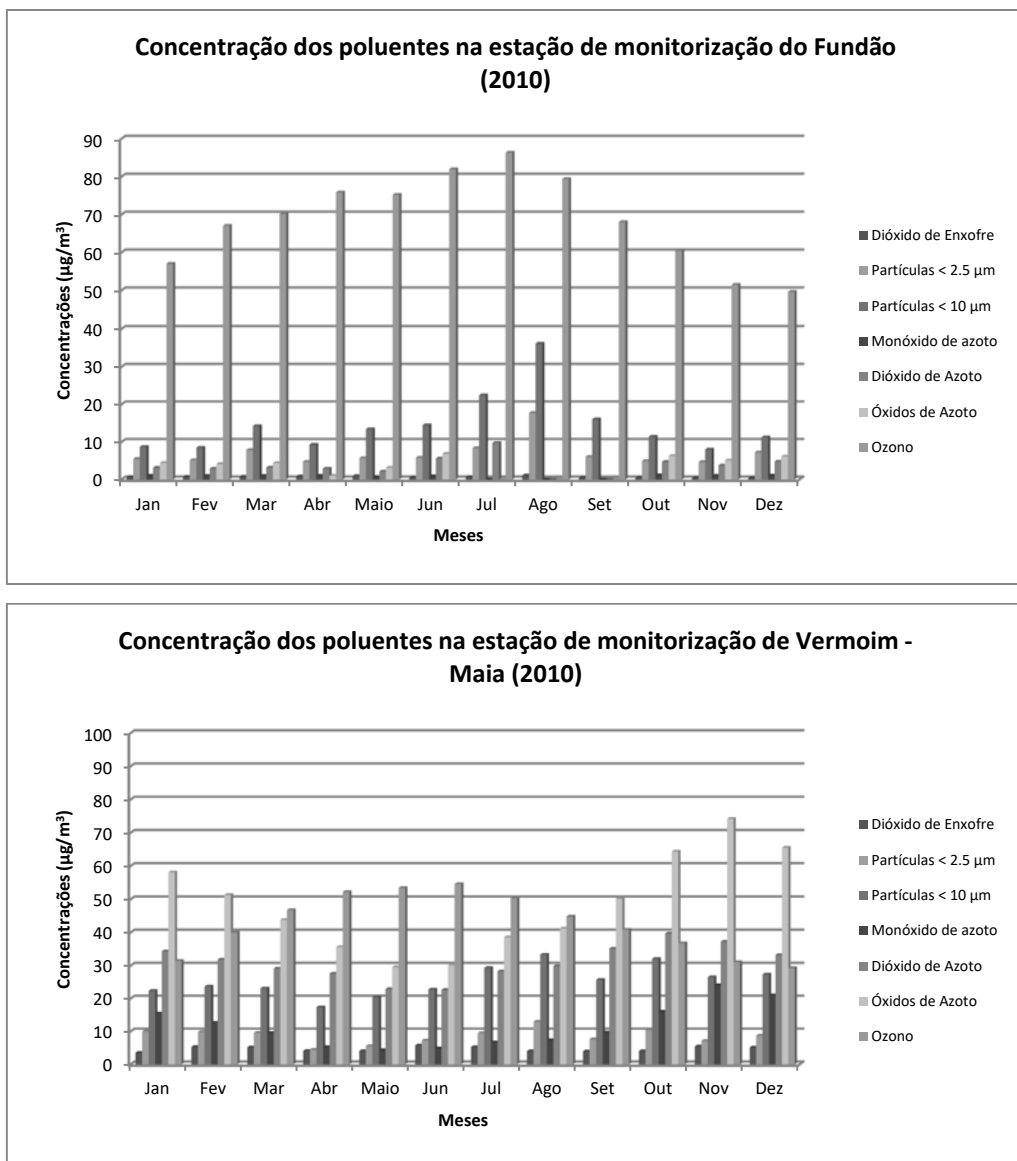


Figura 3 – Variação da concentração de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $PM_{10}$ , e  $PM_{2,5}$  no ano de 2010 nas estações de monitorização do Fundão e de Vermoim – Maia (APA, 2011).

No que diz respeito ao dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), a sua concentração, quer no Fundão quer na Maia, foi relativamente constante ao longo do ano, não se identificando qualquer tendência definida. No entanto, as concentrações registadas na Maia são 5 a 7 vezes superiores às observadas no Fundão.

Para os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) não se observa um padrão definido ao longo do ano, contudo a concentração na Maia é 7 a 14 vezes superior ao que se regista no Fundão (Figura 4). Na Maia, a maior concentração de  $\text{NO}_x$  registada é de  $74,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e a menor é de  $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No Fundão a maior e a menor concentração é de 9,8 e  $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respetivamente. Por sua vez, a concentração de ozono atinge o valor máximo em junho e julho, na Maia e no Fundão, respetivamente. Relativamente à concentração de ozono, verifica-se, sistematicamente, valores superiores no Fundão relativamente aos encontrados na Maia (cerca de 1,5 vezes superiores). No entanto, a concentração de  $\text{NO}_x$ , substância precursora do ozono troposférico, é muito superior na Maia. Ou seja, a concentração detectada de  $\text{NO}_x$  no Fundão não justifica a concentração de ozono detectada.

As principais fontes de ozono são a produção em escala local e o transporte em escala regional. Estas fontes são fortemente influenciadas por fatores meteorológicos, nomeadamente a temperatura, humidade, radiação solar, velocidade e direção do vento (Carvalho *et al.*, 2010). Os ventos predominantes na zona do Fundão são de NW, conforme pode ser visualizado na Figura 5, que indica os ventos predominantes em Portugal Continental nos meses de janeiro, abril, agosto e outubro, o que de certa forma, nos permite considerar que uma parte do ozono tenha origem nas emissões de poluentes precursores nas zonas costeiras, onde há mais indústria e onde o tráfego automóvel é mais intenso. A maior ocorrência de incêndios na região interior do país pode também ajudar a explicar a maior concentração de ozono na zona do Fundão.

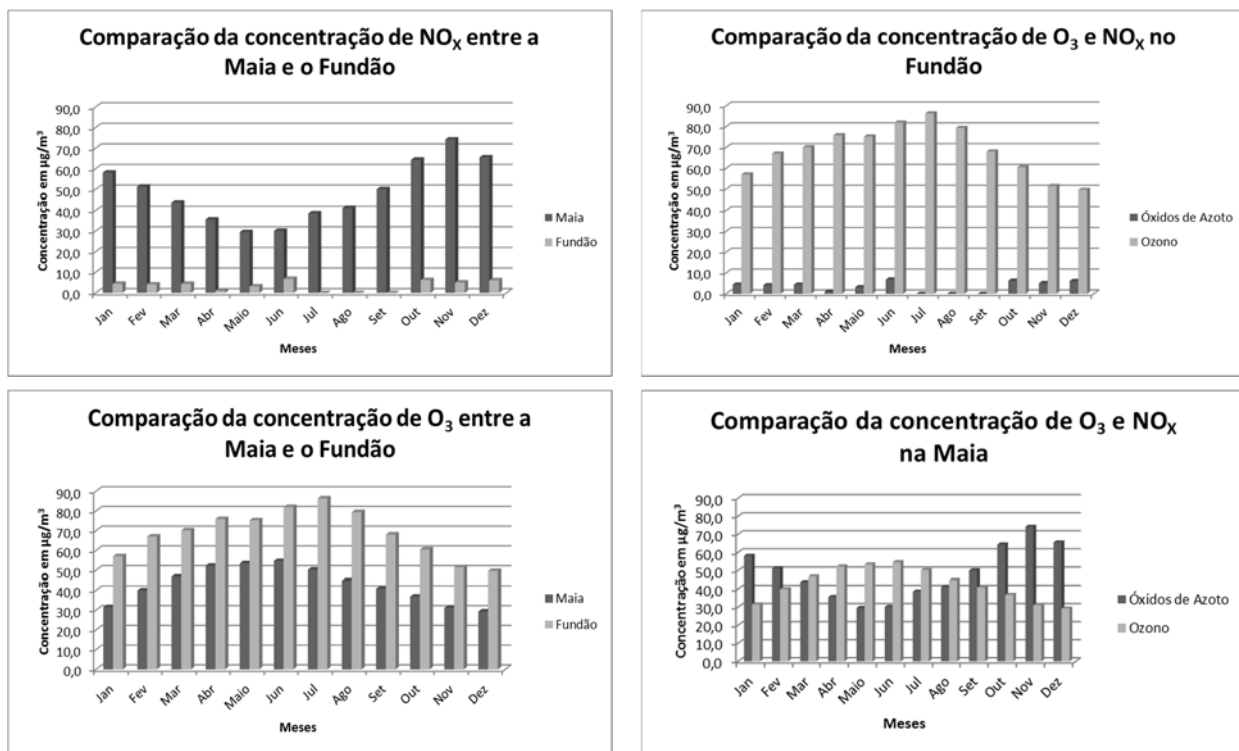


Figura 3 - Comparação da concentração de NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub>, na estação de monitorização da Maia e Fundão (Fonte APA, 2011).

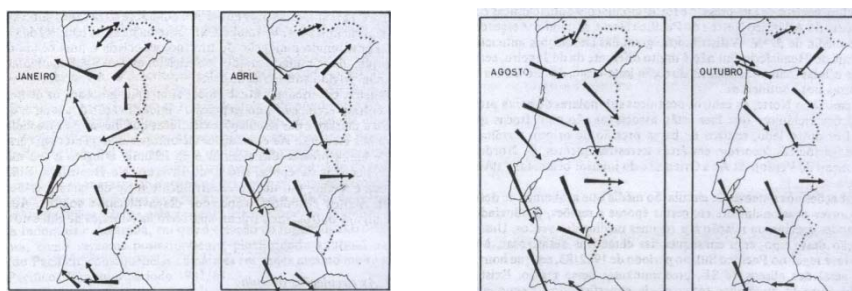


Figura 5 - Ventos predominantes em Portugal Continental (Fonte: UTAD, 2012).

Conclusões semelhantes foram obtidas no projeto FOTONET - Poluição Atmosférica Fotoquímica no Nordeste Transmontano, realizado no interior norte, na aldeia de Lamas d' Olo, localizada no Parque Natural do Alvão, na qual se regista, com frequência, principalmente durante o verão, valores de ozono superiores ao limiar de informação. Lamas d'Olo é uma localidade com pouquíssimo tráfego rodoviário e sem qualquer indústria. Ou seja, o aumento da concentração de ozono

é associado ao fenómeno de transporte de longa distância e/ou redistribuição vertical de massas de ar, predominantemente de NE, assim como possíveis intrusões de ozono estratosférico (Carvalho *et al.*, 2010).

Na região Szeged, no sul da Hungria, foi analisado o efeito conjunto de poluentes químicos e biológicos (pólen) do ar, bem como das variáveis meteorológicas, no número de internamentos devidos a problemas respiratórios (Matyasovszky *et al.*, 2011). Este estudo permitiu chegar a algumas conclusões que se encontram resumidas na Tabela 7 e 8.

**Tabela 7 – Relação das variáveis meteorológicas com os efeitos na saúde (Adaptado de Matyasovszky *et al.*, 2011).**

Ar Frio	Gera vasoconstrição da mucosa do trato respiratório e supressão de respostas imunitárias, responsáveis por um aumento da suscetibilidade às infeções respiratórias.
Aumento da temperatura	Provoca um aumento na morbilidade respiratória devido a uma proliferação de vírus respiratórios.
Ar seco	Produz obstrução, inflamação e hiper-reactividade das pequenas vias respiratórias.

**Tabela 8 – Admissões hospitalares de acordo com a faixa etária dentro e fora da época de polinização de Ambrósia (Adaptado de Matyasovszky *et al.*, 2011).**

Parâmetro	Faixa etária		
	15-64 anos	>65 anos	Total
Admissões hospitalares na época de polinização (Ambrósia)	81,348	13,776	95,251
Admissões hospitalares fora da época de polinização	31,686	6474	38,213

Na área metropolitana do Porto foi estudada a associação entre a exposição à poluição atmosférica e a mortalidade diária. Os poluentes avaliados foram o ozono, o dióxido de azoto e as PM<sub>10</sub>. Neste estudo foi observado durante o verão uma associação significativa entre O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub> com a mortalidade não accidental na cidade do Porto, e uma associação entre a exposição a O<sub>3</sub> e a mortalidade cardiovascular (Pinto de Almeida *et al.*, 2011).

Esta associação foi mais evidente em pessoas idosas, uma vez que é nesta faixa etária que as doenças respiratórias ou cardiovasculares são mais prevalentes, tornando-as mais suscetíveis aos efeitos da poluição atmosférica. No verão, há mais mortes devido à

exposição de  $O_3$ , pois há maiores concentrações no ar ambiente, e as pessoas passam mais tempo ao ar livre e têm as janelas de casa mais tempo abertas.

No Porto, o limite de  $O_3$  estabelecido pela União Europeia e transposto para a legislação portuguesa através do Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, continua a ser ultrapassado regularmente. Durante o período de 2000-2004 o limiar de informação de  $O_3$  ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) foi ultrapassado 780 vezes. Nos cinco anos posteriores (2005-2009) esse valor subiu para 1842. Este facto pode ser explicado pelo aumento do número de estações de monitorização, pelos verões mais quentes e pela ocorrência de grandes incêndios vegetativos (Pinto de Almeida *et al.*, 2011).

Na Figura 6 pode ser observada a percentagem de aumento (intervalo de confiança de 95%) da mortalidade diária associada a um aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração de poluentes no ar do Porto na época estival entre 2000 e 2004.

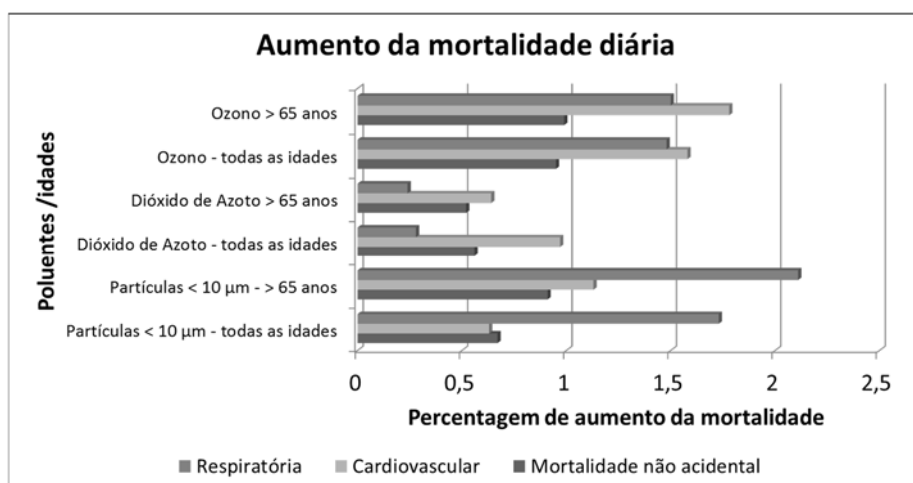


Figura 6 – Percentagem de aumento (Intervalo de confiança de 95%) da mortalidade diária associada a um aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração de poluentes no ar do Porto na época de verão, 2000 – 2004

(Adaptado de Pinto de Almeida *et al.*, 2011).

Entre os anos de 2005 e 2007 foi efetuado um estudo com o objetivo de caracterizar aerobiologicamente os *Platanus*, *Acer*, *Salix*, *Quercus*, *Bétula* e o pólen de *Populos* tendo em conta os internamentos hospitalares de emergência mensais e identificar os diferentes níveis de reatividade em pacientes sensíveis (Ribeiro *et al.*, 2009). A concentração total máxima de pólenes foi encontrada durante

os meses de março e abril no Porto e em Lisboa. Coimbra, Évora e Portimão, apresentam maiores concentrações de pólen durante o mês de maio, principalmente devido ao período de polinização das gramíneas.

O facto das concentrações máximas serem observadas no mesmo mês para o Porto e Lisboa, pode ser explicado pelo maior grau de urbanização, onde a paisagem vegetativa das ruas e parques é constituída predominantemente por árvores ornamentais com a época de polinização entre março e abril.

Os internamentos hospitalares observados nos meses de março correspondem a uma maior concentração de pólen, mas é necessário ter em consideração outros fatores que provocam um número mais elevado de internamentos hospitalares devido a problemas respiratórios, como por exemplo, as epidemias de gripe, como ocorreu em dezembro de 2006 e janeiro de 2007 (Ribeiro *et al.*, 2009).

Embora a época de polinização das gramíneas se estenda por muitos meses, durante a época de polinização das árvores, são atingidos 30 a 60 grãos/m<sup>3</sup>. Segundo a Rede Portuguesa de Aerobiologia (RPA, 2012), estes valores representam um risco moderado a elevado na ocorrência de reações alérgicas.

Foram analisadas as concentrações de pólen de *poaceae* (gramíneas) na atmosfera de Portugal Continental. Este pólen é a principal causa de polinose (febre do feno) no nosso país (Caeiro *et al.*, 2010). Esta análise teve como objetivo comparar o período de polinização principal do pólen de gramíneas das diferentes estações de monitorização continentais da Rede Portuguesa de Aerobiologia: Porto (Norte), Coimbra e Lisboa (Centro), Évora e Portimão (Sul) e analisar a variação inter-anual e intra-diária das concentrações na atmosfera de cada localidade.

Este pólen encontra-se bem representado no espectro polínico da atmosfera das várias localidades, próximo ou acima de 10%. Está presente na atmosfera durante todo o ano, porém as suas concentrações são particularmente elevadas entre maio e julho. O início do período de polinização principal foi mais precoce nas estações do litoral, Lisboa e Porto, e mais tardio no interior sul, Évora. As concentrações máximas absolutas diárias registaram-se em junho e julho no Porto, finais de maio e início de junho em Coimbra, e em maio em Lisboa, Évora e Portimão. A duração do período de polinização principal diminuiu em agosto, no Norte e, em julho, no Sul.

Apesar de existirem diferenças inter-anuais, Porto e Coimbra revelam os mais baixos níveis de pólen, em média 2151 e 1617 grãos de pólen/m<sup>3</sup>/ano, respetivamente. Pelo contrário, Évora registou os mais elevados níveis, 16.736 grãos de pólen/m<sup>3</sup>/ano. Concentrações médias diárias superiores a 25 grãos de pólen/m<sup>3</sup> registaram-se no Porto durante  $23 \pm 5$  dias, em Coimbra  $16 \pm 8$  dias, em Lisboa  $34 \pm 15$  dias, em Évora  $54 \pm 9$  dias e em Portimão  $39 \pm 12$  dias. O pólen encontra-se presente na atmosfera durante 24h, mas as suas concentrações horárias apresentam oscilações ao longo do dia, com as mais baixas a registaram-se entre as 22h e as 6h, e as mais elevadas, observadas em Évora entre as 7h e as 21h, onde ultrapassam os 30 grãos de pólen/m<sup>3</sup> (Caeiro *et al.*, 2010). Na Guarda, foi efetuado um estudo (Gonçalves e Lisboa, 2009) onde se verificaram concentrações médias diárias superiores a 25 grãos de pólen/m<sup>3</sup> durante 47 dias.

Makra *et al.* (2011) analisaram as tendências da circulação de pólen alergénico na Europa Central. Pode-se concluir que houve um aumento de concentração para a maioria das espécies de pólen. Na Grécia verificou-se um aumento anual das concentrações de pólen, e um aumento dos picos de concentração nas contagens diárias. Em relação às características fenológicas (início, fim e duração da época de polinização) não houve alterações.

Na Região Central da Europa (Suíça, Áustria) verificou-se a mesma tendência. Em Zurique, Viena, e também na Polónia a época de polinização começou mais cedo, a concentração máxima diária aumentou e os picos de concentração ocorreram mais cedo. Foi verificada uma tendência de aumento no que diz respeito à radiação, humidade relativa, velocidade do vento e temperatura. Para além das variáveis meteorológicas, as concentrações de pólen são influenciadas também por fatores agrícolas e sociais, incluindo a urbanização, os novos investimentos em antigas áreas agrícolas e a construção de autoestradas. O abandono das terras agrícolas para fins de construção pode contribuir para um aumento das regiões com ervas daninhas e portanto, provocar um aumento na produção de pólen (Makra *et al.*, 2011).

Esta tendência não se verifica apenas na Europa, a Associação Brasileira de Alergia e Imunologia (ASBAI) e a Sociedade Portuguesa de Alergologia e Imunologia Clínica (SPAIC) também realizaram um estudo que teve como objetivo identificar os principais tipos polínicos presentes

na atmosfera da cidade de S. Paulo (Brasil), durante o inverno e a primavera. Durante o período de estudo registaram-se 8285 grãos de pólen, de cerca de 82 tipos diferentes. A máxima concentração polínica registou-se a 3 de agosto, 399 grãos de pólen/m<sup>3</sup>. Os principais tipos polínicos presentes foram, os seguintes (Figura 7): *Moraceae* (21,3%), *Cecropiaceae* (21,1%), *Euphorbiaceae* (11,3%), *Urticaceae* (9,7%), e *Myrtaceae* (9,3%) (Gonçalves da Silva *et al.*, 2010).

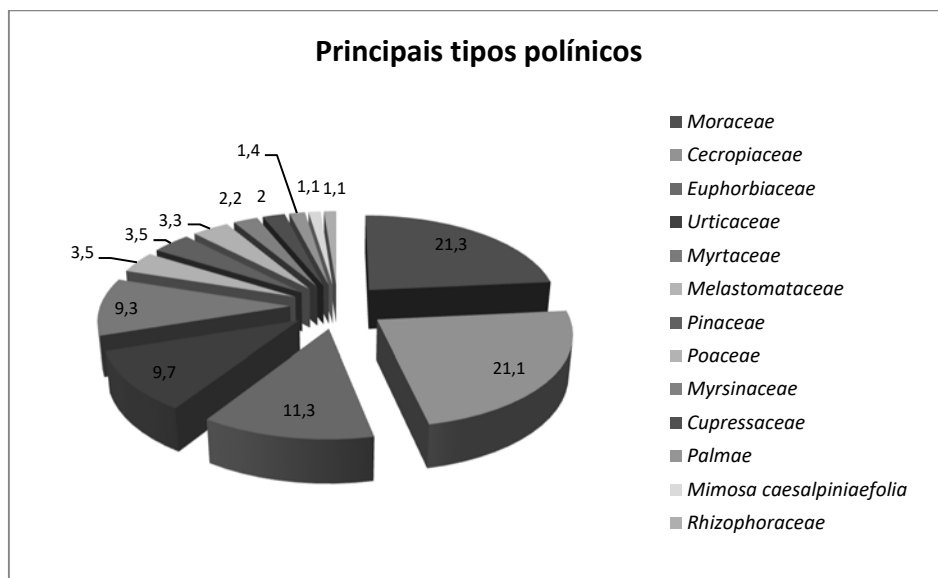


Figura 7 – Principais tipos polínicos, presentes na atmosfera de S. Paulo, Brasil. (Gonçalves da Silva *et al.*, 2010).

Caeiro *et al.* (2010) realizaram um estudo para identificar e quantificar os tipos de esporos fúngicos presentes na atmosfera de Évora e determinar a influência dos fatores meteorológicos sobre as concentrações dos vários tipos morfológicos. No decorrer do estudo foram recolhidos 478976 esporos de 74 tipos de fungos diferentes. Os esporos mais predominantes foram os seguintes: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillaceae*, *Massarina* (conídios), *Coprinus* (basidiósporos), *Ustilago* (teliósporos), *Diatrypaceae*, *Pleospora*, *Didymiella* (ascósporos) e esporos de *Myxomycotas*. Os esporos de *Cladosporium* representaram 61% dos esporos totais recolhidos enquanto que os de *Ustilago* representaram apenas 9,8%, apesar de constituírem o segundo grupo mais importante. As concentrações mais elevadas registaram-se entre o final de maio e meados do mês de junho.



A análise estatística mostrou que a temperatura influência, de forma positiva, as concentrações atmosféricas de *conídios* e *teliósporos* e, de forma negativa, as de *ascósporos*. A humidade relativa favorece as dos *ascósporos* e de alguns *basidiósporos*, a precipitação, influência negativamente os *teliósporos* e a maioria dos *conídios*. Pelo contrário, a precipitação favorece a concentração de alguns *ascósporos*.

#### 4. EFEITOS NA SAÚDE HUMANA

Os valores limites de exposição, legalmente impostos, são padronizados para a população em geral, contudo o valor padronizado pode representar um risco para a uma fracção da população (recém-nascidos, crianças e idosos), para indivíduos com um estado de saúde debilitado (alérgicos, cardíacos, doentes pulmonares e grávidas) ou para aqueles que possuem uma condição socioeconómica mais débil (Peled, 2011). As crianças aumentam a exposição a muitos poluentes atmosféricos quando comparado com os adultos devido, por um lado, à maior frequência de ventilação e ao maior nível de atividade física. Por outro lado, as crianças passam mais tempo em atividades ao ar livre, pelo que, a exposição aos poluentes atmosféricos é também ela maior.

Poluentes atmosféricos (ozono, dióxido de enxofre, matéria particulada, dióxido de enxofre) têm efeitos respiratórios em crianças e adultos, incluindo doenças do trato respiratório como a asma e diminuição da função pulmonar. Em adultos, a poluição atmosférica está intimamente associada com a hospitalização por doenças cardiovasculares e mortalidade cardiovascular, bem como ao cancro do pulmão (Pope *et al.*, 2002). Existem também evidências que permitem estabelecer uma relação entre a poluição atmosférica por matéria particulada e o aumento de internamentos hospitalares por doenças pulmonares e cardiovasculares (Zanobetti e Schwartz, 2005; Middleton *et al.*, 2008). Em especial as partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) que geralmente contém substâncias perigosas e são capazes de penetrar profundamente no pulmão, provocando a sua inflamação.

Comparando os valores limite de cada poluente com as concentrações e os respetivos efeitos na saúde, tendo em consideração a população de risco (Tabela 9), podemos verificar que esses valores são amplamente superiores. Por exemplo para o SO<sub>2</sub>, cujo efeito é asma severa em adultos, as concentrações médias são de 21,3 µg/m<sup>3</sup>. No entanto, o valor limite de exposição diário é de 125 µg/m<sup>3</sup>, ou seja muito superior à concentração necessária para provocar danos na saúde. Estas diferenças de níveis de risco, deveriam ser tidas

em conta, para que os valores limite de exposição fossem adequados ao tipo de população.

Tabela 9 – Relação entre a idade da população exposta, a concentração dos poluentes e os efeitos na saúde (Adaptado de Peled, 2011).

Poluente	Efeito na saúde	Concentrações	População de risco
Partículas inaladas	Morte	18.2 - 46.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Adultos (25 a 74 anos)
Partículas finas		11.0 - 29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Partículas de sulfato		4.8 - 12.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM <sub>2.5</sub>	Internamentos hospitalares por doenças cardiopulmonares	1.1 - 69.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Adultos (mais de 65 anos)
NO <sub>2</sub>		3.4 - 96.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM <sub>10</sub>	Diabetes do tipo 2	44.0 - 54.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mulheres com idade média de 54 anos
NO <sub>2</sub>		23.3 - 48.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
NO <sub>2</sub>	Aumento da função pulmonar	5.0 - 38.0 ppb	Crianças com idade média de 10 anos
NO <sub>2</sub>	Asma severa	Média: 40.2 $\pm$ 14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Adultos
SO <sub>2</sub>		Média: 21.3 $\pm$ 8.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
O <sub>3</sub>		Média: 60.5 $\pm$ 19.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM <sub>2.5</sub>	Internamentos por falhas cardíacas	Média: 10.6 $\pm$ 9.9; 11.9 $\pm$ 11.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Adultos (mais de 67 anos)

Os efeitos dos poluentes atmosféricos variam em função do tempo e das suas concentrações, podendo ser classificados como efeitos agudos e efeitos crônicos. Os efeitos agudos traduzem as altas concentrações de um dado poluente que, ao serem atingidas, podem ter logo repercussões nos indivíduos expostos. Os efeitos crônicos estão relacionados com uma exposição muito mais prolongada no tempo e a níveis de concentração mais baixos, que podem provocar efeitos que derivam da exposição acumulada aos poluentes. Os efeitos que cada um dos poluentes origina são bastante diferentes, tal como se pode observar na Tabela 10.

Tabela 10 – Efeitos na saúde dos principais poluentes atmosféricos (Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente, 2011; Sicard *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011).

Poluente	Efeitos
Monóxido de carbono	Inibe a capacidade de transporte do oxigénio (em concentrações extremas pode provocar a morte por envenenamento). Afeta principalmente o sistema cardiovascular e o sistema nervoso. Concentrações mais baixas são suscetíveis de gerar problemas cardiovasculares em doentes coronários (por ex. angina de peito). Concentrações elevadas são suscetíveis de criar tonturas, dores de cabeça e fadiga.
Dióxido de azoto	Altas concentrações podem provocar problemas do foro respiratório, especialmente em crianças e asmático. Hipersensibilidade respiratória.
Dióxido de enxofre	Altas concentrações podem provocar problemas no trato respiratório, especialmente em grupos sensíveis como os asmáticos. Aumentar a permeabilidade da membrana mucosa das vias aéreas, favorecendo a penetração de alérgenos e o desenvolvimento de reações alérgicas.
Ozono	Irritação do trato respiratório, já que o oxida, podendo provocar dificuldades respiratórias (inflamações brônquicas ou tosse). Frequentemente associado a diversos sintomas, particularmente em grupos sensíveis como crianças, doentes cardiovasculares e/ou do foro respiratório e idosos.
Partículas	As partículas de menor dimensão, que são inaláveis, penetram no sistema respiratório e danificam-no de forma duradoura. Aumento de doenças e infeções respiratórias (aumento da incidência de bronquite asmática). Têm sido associadas a arritmias cardíacas e a ataques cardíacos.
Pólenes e Esporos Fúngicos	Podem levar à obstrução brônquica em indivíduos alérgicos. Podem provocar reações alérgicas.

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde pública incluem o aumento do risco de internamentos hospitalares e da mortalidade por doenças respiratórias ou cardiovasculares. A suscetibilidade individual (principalmente de crianças e idosos) e a existência de condições de saúde que predispõem a população exposta a uma resposta adversa, complicam ainda mais as tentativas de estimar os riscos da poluição atmosférica na saúde.

Segundo Sicard *et al.* (2011), na região Provença-Alpes-Costa Azul (Sudeste de França), o impacto de curto prazo sobre o número de mortes anuais devido à poluição atmosférica é de 177, sendo que 74 dessas mortes estarão associadas a doenças cardiovasculares, 16 a doenças respiratórias e as restantes a outras causas. O número de internamentos hospitalares, por ano, em virtude de doenças respiratórias está estimado em 16, entre os 15 e 64 anos, e 53 para indivíduos com mais de 65 anos. Para doenças cardiovasculares, o número é de 98, durante o inverno, e de 70 durante o verão.

Além do estudo particular dos efeitos que cada um dos poluentes atmosféricos têm na saúde humana, têm sido efetuados

estudos que permitem perceber o efeito na saúde pública dos poluentes químicos e biológicos. Tentam associar a diminuição/aumento da concentração dos poluentes e a diminuição/aumento da mortalidade devida a doenças relacionadas com a qualidade do ar.

Nas últimas décadas, verificou-se um aumento substancial na prevalência das doenças alérgicas, com as tendências a apontarem para que cerca de metade dos europeus afetados em 2015 (Couto e Morais de Almeida, 2011; Sicard *et al.*, 2011). A ausência de prevenção e/ou de tratamento adequado representa dificuldades acrescidas para a qualidade de vida de quem sofre destas patologias, sendo causa frequente de absentismo e de diminuição da produtividade.

Este incremento das doenças alérgicas parece estar sobretudo relacionado com estilos de vida, como o sedentarismo, a maior permanência no interior dos edifícios, a menor prática de exercício físico, o aumento da poluição atmosférica e de consumo de tabaco, as alterações dos regimes alimentares e a obesidade. A rinite, a asma e o eczema atópico são as doenças alérgicas mais frequentes e podem manifestar-se desde os primeiros meses de vida.

Foi realizado em Portugal um estudo exploratório da problemática do diagnóstico da doença alérgica (Couto e Morais de Almeida, 2011), tendo-se concretizado pela aplicação de um questionário por entrevista direta e pessoal a indivíduos com idade superior a 15 anos e residentes em Portugal Continental. Como pode ser observado pelas Figuras 8 e 9, a rinite foi a patologia alérgica com maior frequência de diagnóstico, sendo a asma a segunda doença mais frequente. O eczema atópico é uma patologia frequente nas crianças, tendo o *International Study of Asthma and Allergies in Childhood* estimando que 10 a 20% da população pediátrica é afetada, tal como se identificou em Portugal, sendo o curso natural da doença, numa percentagem significativa, de melhoria e mesmo resolução completa até à adolescência.

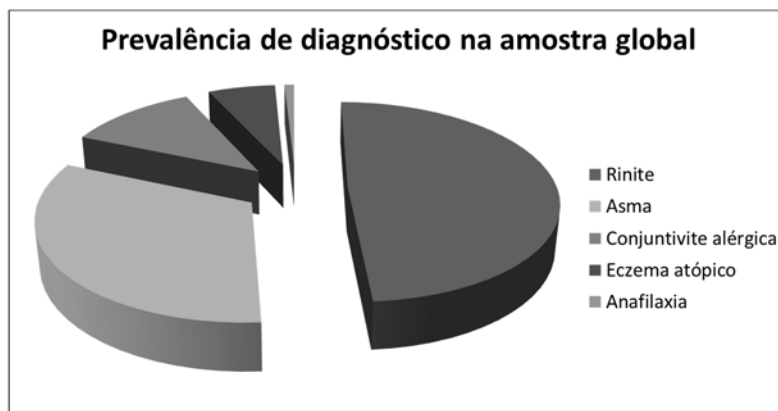


Figura 8 - Representação esquemática da prevalência de diagnóstico de doenças alérgicas na amostra global (Couto e Moraes de Almeida, 2011).

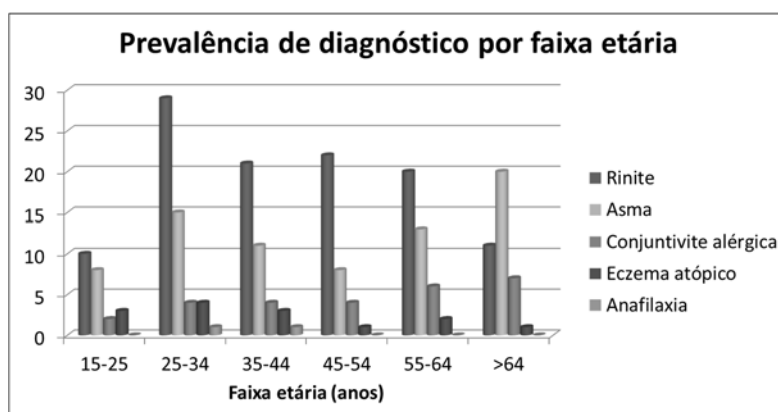


Figura 9 – Representação esquemática da prevalência de diagnóstico de doenças alérgicas, por faixa etária (Couto e Moraes de Almeida, 2011).

Hoje em dia algumas crianças chegam a passar cerca de 78% do seu tempo em casa. Desta forma, as condições das habitações e o seu ambiente são muito importantes para a saúde humana. Os ambientes interiores têm sofrido bastantes alterações, desde o aumento da temperatura à redução da ventilação natural. Alguns estudos constataam que existe uma correlação entre estas mudanças e o aumento da incidência da asma ao longo dos últimos 50 a 60 anos. Algumas das intervenções físicas que podem ser efetuadas para melhorar o ambiente das habitações, minimizando a concentração dos poluentes são a ventilação, o uso de produtos antialérgicos e uma grande preocupação com a limpeza (Eick *et al.*, 2011).

Nas últimas décadas, o maior aumento de asma ocorreu nos países industrializados. Aumento de 1,30% em 1974 para 5,04% em 1985 e de 5,80% em 1991 para 10,74% em 1994. Um aumento moderado da exposição, de longo prazo, à poluição atmosférica (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e O<sub>3</sub>) foi significativamente associado a um maior risco de asma. A maior incidência de asma em regiões urbanas pode estar associada não apenas à maior exposição aos poluentes atmosféricos mas também à maior exposição a ácaros e pólenes e a doenças infecciosas como o sarampo e vírus respiratórios (Ho *et al.*, 2007).

A nível mundial, a asma é uma das doenças crónicas mais frequente, afetando mais de 300 milhões de pessoas e calcula-se que seja responsável por cerca de 250 000 mortes por ano. O impacto da asma em termos de custos diretos com internamento hospitalar e medicamentos, ou indiretos com o tempo de trabalho perdido e morte prematura, colocam esta doença em 22<sup>o</sup> posição das doenças com maior impacto económico, a par da diabetes e do Alzheimer (Couto e Morais de Almeida, 2011). Quando a asma é a causa associada de morte, o principal motivo é geralmente uma doença cardíaca ou uma bronquite crónica. (Sicard *et al.*, 2011).

Os fatores de risco associado ao desenvolvimento da rinite são, ainda hoje, pouco conhecidos. Esta doença, cada vez mais comum representa um pesado fardo no que se refere aos cuidados de saúde. Segundo Matheson *et al.* (2011), a incidência de rinite ao longo da vida foi de 7 em 1000 homens, por ano, e de 7,95 em 1000 mulheres por ano. As mulheres desenvolveram menos rinite durante a infância e mais na idade adulta. Este facto pode ser explicado por fatores hormonais. Ter animais de estimação, viver no campo ou ter irmãos desde a infância foi associado a uma menor incidência de rinite na adolescência. O facto de ter animais ou viver no campo pode estar associado ao facto dos indivíduos estarem expostos a alérgenos o que induz tolerância, reduzindo assim o risco de desenvolver a doença (Repa *et al.*, 2003; Matheson *et al.*, 2011). O tabagismo materno durante a gravidez foi também associado a um aumento do risco de desenvolvimento de rinite ao longo da vida, este facto pode sugerir que o sistema imunológico ou os mecanismos epigenéticos no útero são importantes para aumentar a propensão para o desenvolvimento de doenças alérgicas (Matheson *et al.*, 2011).

Em Pequim (China), foi efetuado um estudo entre 2009 e 2010 que relaciona a poluição atmosférica com os atendimentos diários em

ambulatório para a rinite alérgica (Zhang *et al.*, 2011). Foi avaliada a relação entre a exposição e a resposta da população a três poluentes (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>), tendo em consideração os fatores meteorológicos. Há evidências que os fatores genéticos e ambientais desempenham um papel importante na rinite alérgica, contudo, um grande aumento do número de pacientes com rinite alérgica, registados num curto espaço de tempo, não pode ser explicado por fatores genéticos. Também o alto teor de partículas no ar foi relacionado com um aumento do número de pacientes que procuram tratamento para os problemas respiratórios e circulatórios. A concentração média diária foi elevada no início da primavera e baixa no verão, o que de certa forma explica o aumento de pacientes com rinite alérgica em março e abril, uma vez que também nesse período, a concentração de pólen no ar era muito elevada. Os resultados do estudo apontam para que por cada aumento da concentração de PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, num valor de 10 µg/m<sup>3</sup>, se regista-se um aumento da probabilidade de mais visitas ao hospital (Zhang *et al.*, 2011).

## 5. CONCLUSÕES

Os poluentes atmosféricos provocam cada vez mais problemas de saúde, nomeadamente respiratórios e cardiovasculares. As doenças alérgicas mais frequentes são a asma, a rinite e o eczema atópico, as quais são já hoje um problema de saúde pública.

Os efeitos de cada poluente separadamente são mediantemente conhecidos, mas os seus efeitos conjuntos, que é o que ocorre na realidade, ainda estão por conhecer e perceber. Têm sido efetuados, nesse sentido, alguns estudos mas os resultados são bastante inconclusivos. A suscetibilidade de cada pessoa (idade e condição de saúde) torna a tarefa ainda mais complexa.

A diminuição da concentração dos poluentes é fundamental para a diminuição das patologias associadas à poluição do ar exterior e do ar interior das habitações. Em relação aos poluentes químicos, há neste momento uma efetiva preocupação mundial na sua redução, e foram impostos limites. Contudo, no que se refere aos poluentes biológicos ainda não foram tomadas grandes medidas de modo a que o problema possa ser minorado. Nas áreas urbanas poder-se-ia obter uma grande melhoria se, por exemplo, fosse tido em conta o grau alergénico do pólen das árvores ornamentais plantadas pelos municípios.

Os fatores meteorológicos têm efeito nas concentrações dos poluentes e estas têm influência no aumento/diminuição dos internamentos hospitalares. Vários investigadores têm estudado esta temática e já conseguiram alguns progressos. A dificuldade põe-se na grande variação registada nas características registadas entre localidades. Seria deste modo, muito importante colocar diversas estações de monitorização (de poluentes químicos e biológicos), que permitissem ter uma base de dados bem distribuída. Este seria o ponto de partida para a realização de estudos mais pormenorizados sobre as características dos poluentes atmosféricos de cada localidade, para que na área médica o diagnóstico se tornasse mais rápido e fácil, e fossem utilizados testes apropriados aos tipos de poluentes em questão.

## BIBLIOGRAFIA

- Agência Portuguesa do Ambiente; <http://www.qualar.org/>, consultado em 02/11/2011.
- Bauer, H., *et al.* (2001); "Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants"; *Water Research*, 36; 3965-3970.
- Bosch-Cano, F., *et al.* (2011); "Human exposure to allergenic pollens: A comparison between urban and rural areas"; *Environmental Research*, 111; 619-625.
- Caeiro, E., *et al.* (2010); "Análise das concentrações de pólen de poaceae na atmosfera de Portugal Continental"; *Rev Port Imunoalergologia*; 18 (Supl 1); 6.
- Carvalho, A., *et al.* (2010); "High ozone levels in the northeast of Portugal: Analysis and characterization"; *Atmospheric Environment*, 44; 1020-1031.
- Couto, M. e Morais de Almeida, M. (2011); "Diagnóstico da doença alérgica em Portugal: Um estudo exploratório"; *Rev Port Imunoalergologia*; 19(1); 23-32.
- Davis, L., Cornwell A. (1991). *Introduction to Environmental Engineering*. 2ª edição. McGraw – Hill.
- Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de setembro. *Diário da República* n.º 186/2010 – 1.ª série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento de Território. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, *Diário da República* n.º 67/2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).
- Eick, S. e Richardson, G. (2011); "Investigation of different approaches to reduce allergens in asthmatic children's homes — The Breath of Fresh Air Project, Cornwall, United Kingdom"; *Science of the Total Environment*, 409; 3628-3633.
- Gonçalves da Silva, B., *et al.* (2010); "Análise do pólen atmosférico presente na atmosfera de S. Paulo, Brasil"; *Rev Port Imunoalergologia*; 18 (Supl 1); 46.
- Gonçalves, C., *et al.* (2012); "Inventory of fine particulate organic compound emissions from residential wood combustion in Portugal"; *Atmospheric Environment*; 50; 297 – 306.
- Gonçalves, R., Lisboa, I. (2009); "Projecto Ambiental - Captura, Contagem e Análise de pólenes através do método e dispositivo de Hirst e Análise das Concentrações de ozono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de azoto no campus do IPG"; *IPG*, 28 – 32.
- Halken, S., *et al.* (2003); "Effect of mattress and pillow encasings on children with asthma and house dust mite allergy"; *Journal of allergy and clinical immunology*, 111; 169-176.



- Hameed, A., *et al.* (2009); "Diurnal distribution of airborne bacteria and fungi in the atmosphere of Helwan area, Egypt"; *Science of the Total Environment*; 407; 6217-6222.
- Ho, W., *et al.* (2007); "Air pollution, weather, and associated risk factors related to asthma prevalence and attack rate"; *Environmental Research*; 104; 402-409.
- Hwang, S., *et al.* (2010); "Assessment of airborne environmental bacteria and related factors in 25 underground railway stations in Seoul, Korea"; *Atmospheric Environment*; 44; 1658-1662.
- Jenkin, M. e Clemittshaw, K. (2000); "Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer"; *Atmospheric Environment*; 34; 2499-2527.
- Karakaya, A., *et al.* (1999); "Investigation of some immunological functions in a group of asphalt workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons"; *Toxicology*; 135; 43-47.
- Kim, Y., *et al.* (1999); "Spider mite allergy in apple-cultivating farmers: European red mite (*Panonychus ulmi*) and two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) may be important allergens in the development of work related asthma and rhinitis symptoms"; *Journal of allergy and clinical immunology*; 1285-1292.
- Knutsen, A., *et al.* (2012); "Fungi and allergic lower respiratory tract diseases"; *Journal of allergy and clinical immunology*; 129-2.
- Lacey, M., West, J. (2006); *The Air Spora. A manual for catching and identifying airborne biological particles*. Netherlands: Springer.
- Lerdau, M., Gray, D. (2003); "Ecology and evolution of light-dependent and light-independent phytogenic volatile organic carbon"; *New Phytologist*; 175; 199-211.
- Liao, C., *et al.* (2011); "Fluctuation analysis-based risk assessment for respiratory virus activity and air pollution associated asthma incidence"; *Science of the Total Environment*; 409; 3325-3333.
- Lin, Y., *et al.* (2012). "Temperature, nitrogen dioxide, circulating respiratory viruses and acute upper respiratory infections among children in Taipei, Taiwan: A population-based study"; *Environmental Research*; (aceite para publicação).
- Makra, L., *et al.* (2011); "Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in central Europe based on the example of Szeged, Hungary"; *Atmospheric Environment*; 45; 6010-6018.
- Marks, R., *et al.* (2001); "Bacteria and fungi in air over the Gulf of GdanH sk and Baltic sea"; *Journal of Aerosol Science*; 32; 237-250.
- Matheson, M., *et al.* (2011); "Early-life risk factors and incidence of rhinitis: Results from the European Community Respiratory Health Study — an international population-based cohort study"; *Journal of Allergy and Clinical Immunology*; 128; 816-823.
- Matschulat, D., *et al.* (2006); "Immunization with soot from a non-combustion process provokes formation of antibodies against polycyclic aromatic hydrocarbons"; *Journal of Immunological Methods*; 310; 159-170.
- Matyasovszky, I., *et al.* (2011); "Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants"; *Atmospheric Environment*; 45; 4152-4159.
- Middleton, N., *et al.* (2008). "A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short- term changes in air pollution and dust storms"; *Environmental Health*; 7; 39.
- Motta, A., *et al.* (2006); "Traffic-related air pollutants induce the release of allergen-containing cytoplasmic granules from grass pollen"; *International Archives of Allergy and Immunology*; 139; 4.
- Murdoch, D., Jennings, L. (2009); "Association of respiratory virus activity and environmental factors with the incidence of invasive pneumococcal disease"; *Journal of Infection*; 58; 37-46.
- Onder, S., Dursun, S. (2006); "Air borne heavy metal pollution of Cedrus libani (A. Rich.) in the city centre of Konya (Turkey)"; *Atmospheric Environment*; 40; 1122-1133.

- Pacifico, F., *et al.* (2009); "Isoprene emissions and climate"; *Atmospheric Environment*; 43; 6121-6135.
- Pelczar, M., *et al.* (1980); *Microbiologia – Volume I*; Rio de Janeiro: McGraw-Hill.
- Pelczar, M., *et al.* (1981); *Microbiologia – Volume II*; Rio de Janeiro: McGraw-Hill.
- Peled, R. (2011); "Air pollution exposure: Who is at high risk?"; *Atmospheric Environment*; 45; 1781-1785.
- Pinto de Almeida, S., *et al.* (2011); "Short-term association between exposure to ozone and mortality in Oporto, Portugal"; *Environmental Research*; 111; 406-410.
- Pope III, C., *et al.* (2002); "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution"; *JAMA* 287, 1132-1141.
- Rede Portuguesa de Aerobiologia; <http://www.rpaerobiologia.com>; consultado em 20/04/2012.
- Repa, A. (2003); "Mucosal co-application of lactic acid bacteria and allergen induces counter-regulatory immune responses in a murine model of birch pollen allergy"; *Vaccine*; 22; 87-95.
- Ribeiro, H., *et al.* (2009); "Pollen allergenic potential nature of some trees species: A multidisciplinary approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data"; *Environmental Research*; 109; 328-333.
- Seltzer, J. (1994); "Biological contaminants"; *Journal of allergy and clinical immunology*, 94; 318-326.
- Shiohara, N., *et al.* (2005); "The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City"; *Atmospheric Environment*; 39; 3481-3489.
- Sicard, P., *et al.* (2011); "Air quality trends and potential health effects e Development of an aggregate risk index"; *Atmospheric Environment*; 45; 1145-1153.
- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; <http://www.utad.pt>; consultado em 30/04/2012.
- Woerden, H., *et al.* (2011); "Association between protozoa in sputum and asthma: A case-control study"; *Respiratory Medicine*; 105; 877-884.
- Zanobetti, A., Schwartz, P. (2005); "The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis"; *Environmental Health Perspectives*; 113; 978-982.
- Zhang, F., *et al.* (2011); "Time-series studies on air pollution and daily outpatient visits for allergic rhinitis in Beijing, China"; *Science of the Total Environment*; 409; 2486-2492.